

Лекции по курсу :

***Основы расчета
электрообеспечения***

***Кафедра электрообеспечения
промышленных предприятий
Электротехнический институт
Томского политехнического
университета***

Составлено по следующим источникам:

Тема 4. Расчет электрических нагрузок

- ✓Классификация электроприемников по роду тока и напряжения, мощности и частоте.
- ✓Понятие установленной и номинальной мощности.
- ✓Приведение мощности электроприемников, работающих в повторно-кратковременном режиме, к номинальной мощности для длительного режима работы.
- ✓Определение расчетных электрических нагрузок в сети трехфазного тока до 1000 В (общие положения).
- ✓Определение расчетных электрических нагрузок с помощью таблицы.
- ✓Определение расчетных электрических нагрузок от однофазных электроприемников.
- ✓Определение пиковых нагрузок.
- ✓Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа.



3

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Классификация электроприемников по роду тока и напряжения, мощности и частоте

По роду тока все потребители электроэнергии разделяются на три группы:

- *работающие от промышленной сети 50 Гц;*
- *работающие от сети переменного тока повышенной или пониженной частоты;*
- *работающие от сети постоянного тока.*



4

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Режимы работы электроприемников

Большинство ЭП промпредприятий работают в **трех основных режимах**:

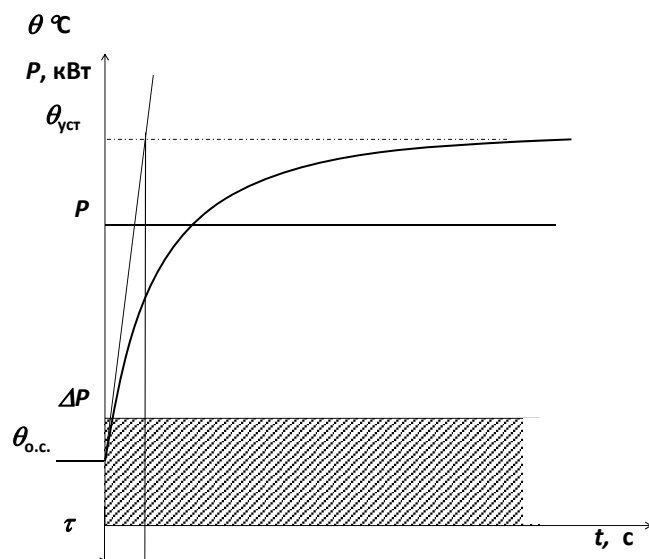
- Продолжительный режим.
- Кратковременный режим
- Повторно-кратковременный режим



5

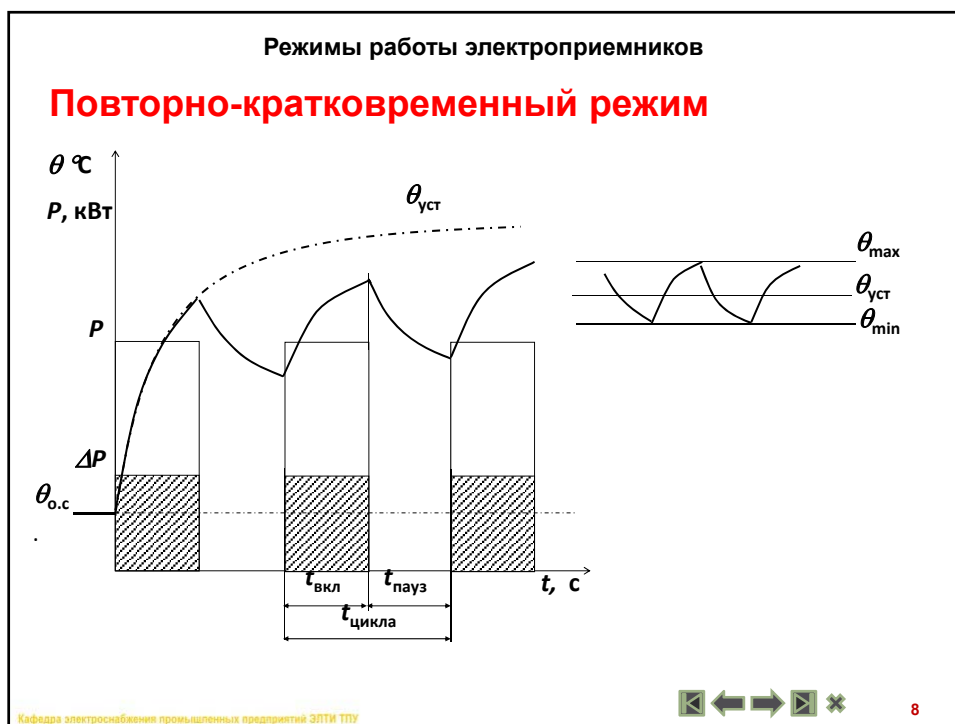
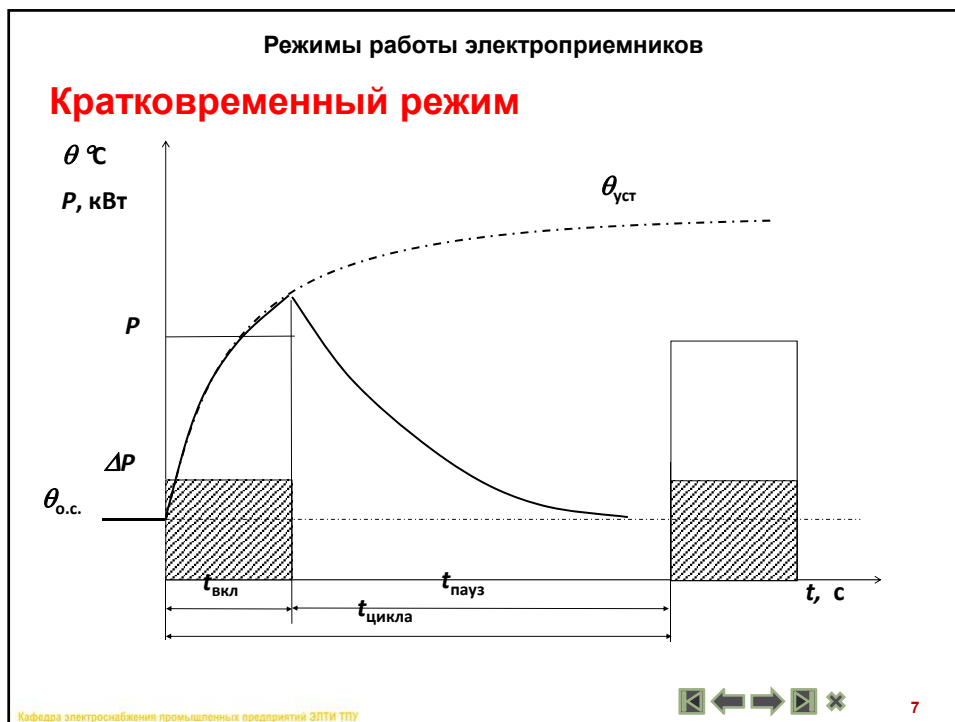
Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Режимы работы электроприемников

Продолжительный режим

6

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



Режимы работы электроприемников

Повторно-кратковременный режим

$$ПВ = \frac{t_v}{t_o + t_v} = \frac{t_v}{t_{\Sigma}},$$

$$P_1 \sqrt{ПВ_1} = P_2 \sqrt{ПВ_2} = P_{\text{прод}},$$

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



9

Электрические нагрузки и их графики

$$I = \text{const} = I_p.$$

где $0 \leq t \leq T - \Theta$, Θ - длительность интервала осреднения, T - интервал реализации случайного процесса, который связан с T_o .

$$I_{\Theta}(t) = \frac{1}{\Theta} \int_t^{t+\Theta} I(t) dt,$$

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



10

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Напряжения электрических сетей и область их применения

При передаче больших потоков электрической энергии, неизбежны потери активной мощности, которые согласно закона Джоуля-Ленца, равны:

$$\Delta W = I^2 R \cdot t$$

где I – величина тока, **A**;

R – активное (оммическое) сопротивление линии, **Ом**

t – время, **с**.



11

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Для уменьшения потерь, передача и распределение электроэнергии производится на высоких напряжениях, **более 1 кВ**, а для удобства преобразования в промышленных электрических сетях используется **трехфазное напряжение** переменного тока, частотой **50 Гц**. Преобразование напряжения одного класса в другой производится на трансформаторных подстанциях (**ТП**), основным элементом которых являются силовые трансформаторы.



12

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Номинальные междуфазные напряжения выше 1 кВ могут быть: (3), 6, 10, (20), 35, 110, (150), 220, 330, 500, 750, 1150 кВ.

В зависимости от установленной мощности промышленные предприятия подразделяются на предприятия малой (**1-5 МВт**), средней (**5-75 МВт**) и большей (**более 75 МВт**) мощности.

Выбор напряжения выше 1 кВ производится в зависимости от мощности ЭУ предприятия одновременно с выбором всей схемы ЭС.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



13

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Для питания предприятий малой мощности и в распределительных сетях внутри предприятия используются напряжения **6** и **10 кВ**. Причем напряжение **10** кВ в большинстве случаев является более предпочтительным.

Напряжение **6 кВ** целесообразно тогда, когда нагрузки и ТП предприятия получают питание от шин генераторов промышленной ТЭЦ, а также при наличии значительного числа ЭП предприятия на номинальное напряжение **6 кВ**.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



14

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Напряжение **35 кВ** используется для создания центров питания предприятий средней мощности, если распределительные сети этих предприятий выполняются на напряжение **6-10 кВ**, а также для ЭС крупных удаленны (**5-20 км**) ЭП на это напряжение. В некоторых случаях напряжение **35 кВ** применяется для схемы глубокого ввода.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



15

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Исходя из требований к удобству эксплуатации СЭС, следует выполнять схемы с минимальным числом используемых на предприятии напряжений и **ступеней** трансформации. Поэтому при проектировании новых и реконструкции действующих промпредприятий следует стремиться к **ликвидации** напряжений **6** и **35 кВ** путем перевода существующих сетей **6 кВ** на напряжение **10 кВ** и создания питающих сетей напряжением **110 кВ** вместо сетей **35 кВ**.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



16

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Напряжение **110** кВ находит сейчас все большее применение в качестве питающего напряжения на средних предприятиях и в качестве распределительного по схеме глубоких вводов - крупного. Широкому применению напряжения **110** кВ способствовало также уменьшение минимальной мощности трансформаторов (до **2500** кВА), изготавливаемых на это напряжение.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



17

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Напряжение **220** кВ применяется для питания крупных энергоемких предприятий от районных энергосистем и распределения ЭЭ на **первой** ступени схемы ЭС.

Номинальным напряжением ЭП называют напряжение $U_{\text{ном}}$, обеспечивающее его нормальную работу. Номинальные напряжения источников ЭЭ и сетей до **1000 В** должны соответствовать **табл.**

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



18

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Таблица

Ток	Номинальное напряжение, В	
	источников и преобразователей	сетей и приемников
Постоянный	6, 12, 28.5, 48, 62, 115, 230, 460	6, 12, 27, 48, 60, 110, 220, 440
Переменный-однофазный	6, 12, 28.5, 42, 62, 115, 230	6, 12, 27, 40, 60, 110, 220
трехфазный	42, 62, 230, 400, 690	40, 60, 220, 380, 660

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



19

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Номинальные напряжения установлены для согласования работы всех элементов СЭС, начиная от генераторов электрических станций и кончая самыми удаленными ЭП. На эти же напряжения изготавливают электрическое оборудование.

У повышающих силовых трансформаторов электростанций номинальное напряжение первичной обмотки совпадает с номинальным напряжением трехфазных генераторов.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



20

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

У **понижающих** трансформаторов первичная обмотка является приемником ЭЭ и ее номинальное напряжение равно напряжению сети. Номинальные напряжения вторичных обмоток трансформаторов, питающих электрические сети, так же как и номинальные напряжения генераторов, на **5-10 %** выше номинальных напряжений сети, что дает возможность компенсировать потери напряжения в линиях и трансформаторах.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



21

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Выбор того, или иного стандартного напряжения определяет построение всей СЭС промышленного предприятия. Для внутрицеховых электрических сетей наибольшее распространение имеет напряжение **380/220 В**, основным преимуществом которого является возможность совместного питания силовых и осветительных ЭП.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



22

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Наибольшая единичная мощность трехфазных ЭП, получающих питание от системы напряжений **380/220 В**, как правило, не должна превышать **200-250 кВт**, допускающих применение коммутирующей аппаратуры на ток **630 А**.

За последние десятилетия значительно увеличились нагрузки потребителей, их число и единичная мощность. Поэтому **введено** повышенное напряжение **660 В**. Это вызвано еще и тем, что повсеместно стало внедряться напряжение **10 кВ** вместо **6 кВ**.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



23

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Напряжение **660 В** в первую очередь целесообразно на тех предприятиях, на которых по условиям планировки цехового оборудования, технологии и окружающей среды нельзя или **трудно приблизить** цеховые **ТП** к **ЭП**. Это имеет место в угольных шахтах, в карьерах, в нефтедобывающей, химической промышленности, на цементных заводах и т.п.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



24

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Расстояния от **ИП** до **ЭП** при этом увеличиваются и становится необходимым для снижения потерь принять повышенное напряжение распределительной сети - **660 В**.

Напряжение **660 В** целесообразно также на предприятиях с высокой удельной плотностью электрических нагрузок на квадратный метр площади, концентрацией мощностей и большим числом **ЭД** в диапазоне мощностей **220-600 кВт**.

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

При напряжении **660 В** увеличивается радиус действия цеховых ТП примерно в **2** раза по сравнению с внутрицеховыми сетями на **380 В**, кроме того появляется возможность повысить единичную мощность трансформаторов и тем самым **сократить** число цеховых ТП, линий и аппаратов напряжением **выше 1 кВ**. Одновременно снижается примерно **в два раза** расход цветных металлов.

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Стоимость ЭД и трансформаторов одной и той же мощности при напряжении **380/220** и **660/380 В** практически одинакова, в то время как пропускная способность сети **660/380 В** увеличивается в $\sqrt{3}$ раз.

Недостатками напряжения **660 В** является: необходимость **раздельного** питания силовых и осветительных ЭП, повышенная степень опасности ЭУ на напряжение **660 В**, нецелесообразность напряжения **660 В** в машиностроительной, деревообрабатывающей, легкой промышленности и других отраслях, где имеется много мелких рассредоточенных на небольшой территории ЭП.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



27

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

Напряжение не выше **42 В (36 или 24)** применяется в помещениях с повышенной опасностью для стационарного местного освещения и ручных переносных ламп.

Напряжение **12 В** применяется только при особо неблагоприятных условиях в отношении опасности поражения электрическим током (например, при работе в котлах или других металлических резервуарах), для питания ручных переносных светильников.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



28

Особенности систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства, транспорта

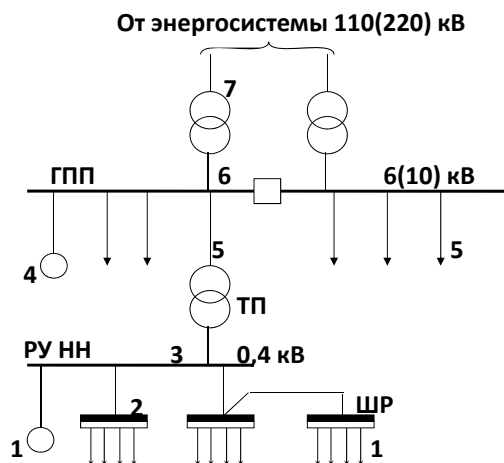
В некоторых отраслях промышленности применяются установки постоянного тока (электролиз, гальваника, контактная сварка и т.д), в которых применяются выпрямительные устройства или комплектные преобразовательные п/ст.

Методы расчета электрических нагрузок

Методы расчета электрических нагрузок

Электрические нагрузки промпредприятий определяют выбор всех элементов системы электроснабжения: линий электропередачи, районных ТП, питательных и распределительных сетей. Поэтому правильное определение электрических нагрузок является решающим фактором при проектировании и эксплуатации электрических сетей.

Методы расчета электрических нагрузок

Схема характерных мест определения электрических нагрузок

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЗПТИ ТПУ



31

Методы расчета электрических нагрузок

Расчет нагрузок на разных уровнях может производиться различными методами, в зависимости от исходных данных и требований точности. Обычно расчет ведут от низших уровней к высшим. Однако при проектировании крупных предприятий иногда приходится вести расчеты от верхних уровней к нижним. В этом случае пользуются **комплексными методами расчета**. За основу берут информационную базу аналогичного завода (технология, объем производства, номенклатура изделий).

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЗПТИ ТПУ



32

Методы расчета электрических нагрузок

Сначала решают вопросы электроснабжения предприятия в целом, затем комплекса цехов, отдельного производства, района завода; цеха или части завода, питающихся от одной РП. Комплексный метод предусматривает одновременное применение нескольких способов расчета максимальной нагрузки P_p по следующим параметрам:

1. По электроемкости продукции

$$P_p = \sum \Delta_i M_i / T_M$$

M_i , Δ_i - объем и электроемкость продукции i -го вида;

T_M - годовое число часов использования максимума нагрузки



33

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Методы расчета электрических нагрузок

2. По общегодовому электропотреблению

$$P_p = K_M A / T_z$$

K_M - среднегодовой коэффициент максимума;

A - общегодовое электропотребление;

$T_z = 8760$ - число часов в году.

3. По удельным мощностям нагрузок

$$P_p = \gamma F$$

γ - удельная мощность (плотность) нагрузки;

F - площадь предприятия, района, цеха.



34

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Методы расчета электрических нагрузок

4. По среднегодовому коэффициенту спроса K_c

$$P_p = K_c P_{уст}$$

Руст - сумма установленных мощностей.

5. По методу упорядоченных диаграмм (коэффициенту максимума K_m)

$$P_p = K_m K_u P_{уст}$$



35

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Методы расчета электрических нагрузок

Несмотря на очевидные различия, задача у всех методов расчета одна: определить максимальную нагрузку, создаваемую группой ЭП - цехом, заводом и т.д.

Исходными данными для расчета обычно являются **установленная мощность ЭП** и их **количество**. Расчет электрических нагрузок по установленной мощности производят потому, что у многих ЭП понятие номинальной мощности трактуется по разному.

Например, у двигателей номинальная или паспортная мощность равна мощности на валу; у ламп накаливания потребляемой мощности, указанной на колбе,



36

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Методы расчета электрических нагрузок

у люминесцентных ламп мощности только самих ламп и т.д.

Нас же интересует **полная потребляемая мощность**, или более точнее **максимальный ток**. При расчете электрических нагрузок заданные паспортные мощности ЭП приводят к установленной.

Порядок ее определения следующий:

Для ЭД с длительным режимом работы

$$P_{уст} = P_{ном} \text{ (кВт)}$$

Для ЭД повторно-кратковременного режима

$$P_{уст} = P_{ном} \sqrt{ПВ}$$

Методы расчета электрических нагрузок

Для силовых трансформаторов

$$S_{уст} = S_{ном} \text{ (кВА)}$$

Для сварочных трансформаторов

$$P_{уст} = S_{ном} \sqrt{ПВ} \cos \varphi$$

Для ламп накаливания

$$P_{уст} = P_{ном}$$

Наиболее распространены методы расчета нагрузок K_C и K_M . Для приведенных первых трех методов не всегда имеются исходные данные.

Для применения же методов K_C и K_M необходимо знание только номенклатуры рассчитываемой группы ЭП.

Методы расчета электрических нагрузок

Метод K_c применяется для расчета нагрузок, создаваемых большой группой ЭП (как правило $N > 200$), где максимумы нагрузок сглаживаются.

Метод **упорядоченных диаграмм** более точен и применяется для расчета нагрузки, создаваемой группой ЭП с резко-переменным режимом работы. В этом случае эффект сглаживания максимума суммарной нагрузки будет существенно меньше (особенно при малом числе ЭП в группе), и использование метода K_c может привести к увеличению погрешности расчета.

Методы расчета электрических нагрузок

Отметим, что для ЭП в группе **меньше 3**, расчетная нагрузка равна сумме их номинальных мощностей.

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

Расчетная нагрузка для однородных по режиму работы ЭП определяется из следующих выражений:

$$\begin{aligned} P_p &= K_{c.a.} \cdot P_n \\ Q_p &= P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \\ S_p &= \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = P_p / \cos \varphi \end{aligned} \quad (1)$$

где $K_{c.a.}$ - коэффициент спроса данной характерной группы ЭП, принимаемой по справочным материалам; $\operatorname{tg} \varphi$ - соответствует характерному для данной группы ЭП $\cos \varphi$, определяемому по справочным материалам.



41

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

Расчетная нагрузка узла системы ЭС (цеха, корпуса) определяется суммированием расчетных нагрузок отдельных групп ЭП, входящих в данный узел, с учетом **коэффициента разновременности максимумов** нагрузки:

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_1^n P_p \right)^2 + \left(\sum_1^n Q_p \right)^2} \cdot K_{p.m.}$$

где $\sum P_p$, $\sum Q_p$ - сумма расчетных нагрузок отдельных групп ЭП, определенная по формуле (1),



42

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

а $K_{р.м}$ - коэффициент одновременности отдельных групп ЭП, принимаемый равным в пределах **0,85-1,0** в зависимости от места нахождения данного узла в системе ЭСПП.

Задача Определить расчетную нагрузку группы ЭП с разными режимами работы коксохимического цеха. Задана установочная мощность подгрупп ЭП с одинаковыми режимами работы. Величины $K_{с.а.}$ и $\cos\varphi$ принимаем по справочным материалам. Все исходные данные и результаты сводим в таблицу:



43

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

Наименование групп ЭП	Кол-во ЭП	Сумма $P_{уст}$	K_c	$\frac{\cos\varphi}{tg\varphi}$	Расчетные нагрузки		
					$P_p = K_c * P_n$ (кВт)	$Q_p = P_p * tg\varphi$ (кВар)	$S_p = \sqrt{}$ (кВА)
Транспортеры	16	191,4	0,8	0,75/0,882	153,1	135	
Дозировочные столы	2	9	0,35	0,5/1,732	3,2	5,5	
Питатели	23	158,5	0,6	0,75/0,882	95,0	83,8	
Вентиляторы, насосы	8	18	0,75	0,85/0,62	14,4	8,9	
Общая нагрузка ЭП всех 4-х групп	49	377	0,7	0,75/0,882	270	233	352



44

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

Средневзвешенный $K_{с.а}$ и $\cos\varphi_{зр}$ по группе в целом определяется из выражения:

$$K_{с.а.зр} = \frac{P_{р.зр}}{P_{н.зр}} = \frac{270}{377} = 0,7 \quad \text{tg}\varphi_{зр} = \frac{Q_{р.зр}}{P_{р.зр}} = \frac{233}{270} = 0,88$$

По величине $\text{tg}\varphi_{зр}$ определяется соответствующее значение $\cos\varphi_{зр} = 0,75$

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

Метод определения расчетных нагрузок по установленной мощности K_c достаточно прост в использовании, но имеет следующие недостатки:

K_c принимается по справочным данным для групп ЭП с одинаковыми режимами работы, равным постоянной величине, поэтому только при $n_э \rightarrow \infty$, (когда $K_{м.а} \rightarrow 1$, $K_{с.а} \rightarrow \text{постоянной}$) можно ожидать более или менее правильных результатов при определении расчетных нагрузок;

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

В справочниках K_c дается с учетом возможной максимальной нагрузки **30-минутной длительности**, соответственно величина K_c справедлива только для выбора сечений **до 25 мм²**. Поэтому при больших сечениях выбор K_c по справочникам будет приводить к завышению расчетной нагрузки.

Изменение технологического режима работы отдельного ЭП не может быть легко отражено изменением K_c , так как величина K_c учитывает не только режим работы ЭП, но и количество ЭП в группе.



47

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c

$K_{p.m.}$ принимается в пределах **0,85-1,0**. При большом числе ступеней в сети это может привести к значительной погрешности.

Вывод: метод определения расчетной нагрузки по установленной мощности и K_c есть грубо приближенный метод, который может применяться только для предварительных расчетов и при большом числе ЭП в группе.



48

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Показатели, характеризующие приемники ЭЭ и их графики нагрузки

Коэффициент спроса

$$K_{c.a.} = \frac{P_p}{P_n}$$

Коэффициент спроса $K_{c.a.}$ - отношение расчетной (или потребляемой) активной мощности к номинальной (установленной) активной мощности группы ЭП.

Значения коэффициентов $K_{c.a.}$ для различных групп ЭП в различных отраслях промышленности и различных производств и предприятий в целом определяются из опыта эксплуатации и принимаются при проектировании по справочным материалам (табл.).



49

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Показатели, характеризующие приемники ЭЭ и их графики нагрузки

Коэффициент спроса по некоторым предприятиям

№	Предприятия	Кс
1	Металлургический завод	0,37
2	Алюминиевый завод	0,85
3	Глиноземный завод	0,78
4	Чугунолитейный завод	0,67
5	Завод синтетического каучука	0,5
6	Нефтехимический завод	0,65
7	Шинный завод	0,5
8	Автомобильное производство	0,48
9	Конверторный цех	0,59

Эти показатели могут служить лишь для ориентировочных расчетов. Для вновь проектируемых предприятий необходимо учитывать совершенствование технологии, более широкое внедрение электроэнергии в технологические процессы. Все это обычно приводит к увеличению K_c .



50

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Метод основан на исследованиях **Г.М. Каялова** в области упорядоченных диаграмм индивидуальных показателей режима работы ЭП. Показатели определяются для наиболее нагруженной смены.

Расчетная активная нагрузка группы ЭП с переменным графиком нагрузки на всех ступенях питающих и распределительных сетей, включая трансформаторы и преобразователи, **определяется по средней мощности и коэффициенту максимума** из следующих выражений:



51

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

$$P_{p30} = K_{m30} \cdot P_{см} = K_{m30} \cdot K_u \cdot P_{уст}$$

P_{p30} - максимальная средняя нагрузка за интервал времени **$T=3T_0$** . В качестве интервала усреднения принято время **$T=30$ мин.** (т.е. **$T_0=10$ мин.**)

K_{m30} - коэффициент максимума активной мощности при длительности интервала усреднения **30 мин**, определяемый по кривым **$K_m=f(n_{\text{э}})$** при определенном значении **K_u** .



52

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

K_u - коэффициент использования, определяемый по справочным материалам и $\cos\varphi$ для характерных групп ЭП.

Примечание. В тех случаях, когда выбираемый по нагреву проводник имеет постоянную времени нагрева T_0 значительно превышающую **10 мин**, величина расчетной нагрузки, определенная по **30 мин** интервалу усреднения, должна быть пересчитана на максимум большей длительности по формуле:

$$P_{pm} = K_{mt} * P_{cm}$$

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



53

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Расчетная реактивная нагрузка группы ЭП (при индуктивном характере нагрузки) принимается равной:

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 Q_{cm}$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = Q_{cm}$$

где Q_{cm} - средняя реактивная нагрузка группы ЭП за наиболее загруженную смену.

$$\text{Для характерной группы ЭП} \quad Q_{cm} = P_{cm} * tg\varphi$$

$$\text{Для групп ЭП с различными } K_u \quad Q_{cm} = \sum Q_{cm}$$

Полная расчетная нагрузка S_p определяется $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ (коэффициент K_{pm} при данном методе не применяется)

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



54

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

При наличии ЭП повторно-кратковременного режима работы, их установленная мощность для использования в расчетах должна быть приведена к длительному режиму (т.е. к **ПВ=100 %**).

$$P_{уст} = P_{ном} \cdot \sqrt{ПВ_{расч}}$$

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

При небольшом эффективном числе ЭП ($n_э < 4$) рекомендуются следующие способы определения расчетной нагрузки:

1) расчетная нагрузка группы, содержащей три и менее ЭП, принимается равной сумме номинальных мощностей ЭП:

$$P_p = p_{ном1} + p_{ном2} + p_{ном3} = \sum p_{ni}$$

$$Q_p = \sum q_{номi} = \sum p_{номi} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

При отсутствии данных о **cosφ** принимают:

а) для двигателей с длительным режимом работы **cosφ=0.8**

б) для двигателей с повторно-кратковременным режимом **cosφ=0.7**;

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

2) расчетная нагрузка, в случаях когда $n \geq 4$, но $n_3 < 4$, принимается равной сумме произведений номинальных мощностей на характерные для этих ЭП коэффициенты загрузки:

$$P_p = \sum p_{\text{ном}i} * K_{zi}$$

$$Q_p = \sum q_{\text{ном}i} * K_{zpi} = \sum p_{\text{ном}i} * \text{tg} \varphi_{\text{ном}i} * K_{zi}$$

где K_{zpi} - коэффициент загрузки по реактивной мощности;

При отсутствии сведений о величине K_3 и $\cos \varphi$ могут быть приняты их средние значения:



57

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

а) для ЭП с длительным режимом $k_3 = 0,9$, $\cos \varphi = 0,8$;

б) для ЭП с ПКР $k_3 = 0,75$, $\cos \varphi = 0,7$

Определение расчетной нагрузки упрощенными способами ведет, как правило, к ее завышению и допускается только для данной небольшой группы ЭП.

Расчет нагрузок не может быть достаточно точным из-за возможных изменений заданий технологов и неточности расчетных коэффициентов (учитывая динамику изменения коэффициентов во времени).



58

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Руководящие указания допускают погрешность при расчете нагрузок $\pm 10\%$.

При расчетах электрических нагрузок без применения ЭВМ используются **специальные таблицы**. Исходными данными расчета является **ведомость электрических нагрузок** распределительных силовых шкафов, цеха, завода и т.д. - $P_{ном}$.

В качестве примера в табл. приведена ведомость электрических нагрузок ремонтно-механического цеха и специальная таблица для расчета электрических нагрузок.

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Ведомость электрических нагрузок ремонтно-механического цеха (РМЦ)

№ по плану	Наименование отделения цеха и производственного механизма	Количество, шт	Установленная мощность, кВт
1	2	3	4
<i>Механическое отделение</i>			
1	Токарно-винторезный станок 1К62	5	11,125
2	Токарно-винторезный станок 1Б61	4	4,625
3	Токарно-винторезный станок 1А61617	1	4,6
4	Токарно-револьверный станок 1П326	3	5,475
5	Долбежный станок 7М37	3	3,8
6	Токарно-строгальный станок 7М37	3	11
<i>Термическое отделение</i>			
44	Электропечь сопротивления ПН-31	2	24
45	Шкаф сушильный Ш-0,5	1	1,1
46	Электропечь сопротивления Н-15	1	15
47	Электропечь сопротивления ОКБ-194А	2	19
48	Электропечь ванна ОП-60/15	1	22
49	Муфельная печь П-6	2	2,2
50	Вентилятор	2	2,8
51	Вентилятор	2	7,0
<i>Гальваническое отделение</i>			
52	Сушильный шкаф	2	10
53	Селеновый выпрямитель ВСМР	2	22
54	Полировочный станок С42-А	1	3,2
55	Вентилятор	3	4,5

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Расчет электрических нагрузок цеха производим в рамках таблицы

№	Наименование	Кол во	Установ. мощн. к ПВ=100% кВт		m= Pmax / Pmin	Ки	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка за макс. см.		пэ	Км	Расчетная нагрузка			
			1 ЭП кВт	ΣЭП кВт				Рсм кВт	Qсм кВар			Рр кВт	Qр кВар	Sp кВА	Ip кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Приемники группы А														
1	Станки разные	74	0,6-33,3	416,4	55,5	0,14	0,5/1,73	58,3	101						
2	Кран-балки, краны	4	4,85-24,2	38,8	5	0,2	0,6/1,33	7,76	10,3						
3	Преобраз. агрегаты	2	22	44	1	0,08	0,95/0,33	3,8	1,25						
4	Сварочные аппараты	8	10-45	186	4,5	0,3	0,6/1,33	55,8	74,2						
	Итого по группе А:	88	0,6-45	685,1	-	0,19	-	125,7	186,8	31	1,34	168	186,8	251,2	0,382
	Приемники группы Б:														
5	Вентиляторы	17	1,2-10	103,7	-	0,65	0,8/0,75	67	51						
6	Нагрев. элементы	13	0,8-45	194,3	-	0,8	0,95/0,33	155	51						
	Итого по группе Б:	30	0,8-45	298	-	-	-	222	102	-	-	222	102	244,3	0,371
	Итого по цеху:	118	-	1010	-	-	-	347,7	288,8	-	-	390	288,8	485,3	0,737

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



61

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Порядок работы с таблицей следующий:

1) В графу 2 в соответствии со схемой питания заносятся:

а) наименование узла, для которого производится определение эл.нагрузок (силовой шкаф, питающая линия, магистраль, цех, ТП и т.п.)

б) наименование характеристик групп ЭП (с одинаковыми K_u и $\cos\phi$), питающихся от данного узла. Запись производится в такой последовательности:

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



62

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

✓ ЭП длительного режима с переменным графиком нагрузки. (ЭП с ПКР записываются с приведением к **ПВ=100%**). Каждый многодвигательный агрегат считается как один ЭП суммарной мощностью всех входящих в него механизмов.

✓ ЭП с постоянным графиком нагрузки;

2) В графе **3** в числителе записывается количество рабочих ЭП, в знаменателе - количество резервных. Резервные ЭП в расчетах не учитываются.

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

3) В графу **4** по каждой группе записываются номинальные мощности наименьшего и наибольшего ЭП.

4) В графу **5** в виде дроби записываются в числителе суммарная установочная мощность рабочих ЭП данной группы, приведенных к **ПВ=100%**, в **кВт**, а в знаменателе - суммарная мощность резервных ЭП (резервные ЭП в определении средних и максимальных нагрузок не учитываются).

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

5) В графу 6 заносятся значения m по всему расчетному узлу ($m > 3$, $m < 3$).

6) В графы 7 и 8 записываются значения K_u и $\cos\varphi$ и через дробь $tg\varphi$ для отдельных групп ЭП. (выбираются по справочникам)

7) Графа 9. $P_{см} = K_u(\text{графа 7}) * P_{ном}(\text{графа 5})$, кВт

8) Графа 10. $Q_{см} = P_{см} * tg\varphi$, кВар

9) Для заполнения графы 7 и 8 по узлу в целом необходимо предварительно подвести итоги по графам 5, 9 и 10. По полученным данным определяются средневзвешенные значения K_u по расчетному узлу



65

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

$$K_u = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_n}$$

10) В графу 11 записывается значение n_3 , которое определяется одним из известных способов.

11) Графа 12. Км определяется как $f(n_3)$ и средневзвешенным значениям Км по таблицам или кривым. Для ЭП с постоянным графиком $K_M = 1$.

12) Графа 13. $P_p = K_M * P_{см}$, кВт



66

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

13) Графа 14. $Q_p = 1.1 Q_{CM}$ при $n_3 \leq 10$

$Q_p = Q_{CM}$ при $n_3 > 10$

14) Суммарные максимальные нагрузки, активные и реактивные по расчетному узлу в целом для ЭП с переменным и практически постоянным графиком нагрузки определяются сложением нагрузок этих групп ЭП по формуле:

$$P_M = P_{M1} + P_{M2} = K_M * P_{CM1} + P_{CM2}$$

15) Графа 15. $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$

16) Графа 16.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}$$

- расчетный ток, А



67

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

17) Для определения общих нагрузок по цеху, по тр-ру или п/ст в целом к силовым нагрузкам необходимо добавить осветительную нагрузку P_{po} от освещения, определяемая по формуле:

$$P_{po} = K_{co} * P_{но}$$

где K_{co} - коэффициент спроса по освещению (табл.3.6)

$$P_{но} = P_{уд} * F_{цеха}$$

где $P_{уд}$ - удельная плотность нагрузок, принимаемая по справочным данным (табл.);

$F_{цеха}$ - площадь цеха.



68

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Коэффициенты спроса осветительных нагрузок

Характеристика помещения	К _{со}
Мелкие производственные здания и торговые помещения	1
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из ряда отдельных помещений	0,85
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Лечебные заведения и учебные учреждения, конторско-бытовые здания	0,8
Складские здания, электрические подстанции	0,6
Аварийное освещение	1

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



69

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Удельная мощность (плотность) осветительной нагрузки, Вт/м²

Наименование объекта	Р _{уд}
Литейные и плавильные цеха	12-19
Механические и сборочные цеха	11-16
Электросварочные и термические цеха	13-15
Инструментальные цеха	15-16
Деревообрабатывающие и модельные цеха	15-18
Блоки вспомогательных цехов	17-18
Инженерные корпуса	16-20
Центральные заводские лаборатории	20-27
Заводы горно-шахтного оборудования	10-13
Освещение территории	0.16

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



70

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Так как количество и мощность трансформаторов цеховых п/ст и параметры внутризаводской сети еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них определяются по выражениям:

$\Delta P_{тр} = 0,02 * S_p$, кВт - потери активной мощности в цеховых трансформаторах;

$\Delta Q_{тр} = 0,1 * S_p$, кВар - потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах;

$\Delta P_{л} = 0,03 * S_p$, кВт - потери активной мощности в линиях питания цеховых трансформаторов;

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



71

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

При суммировании расчетных нагрузок нескольких цехов или всего предприятия необходимо вводить коэффициенты одновременности максимумов нагрузки, тогда суммарные расчетные активные, реактивные и полная нагрузки предприятия, отнесенные к шинам **6-10 кВ** ГПП будут:

$$P_{p\Sigma} = (\sum P_{рн} + \sum P_{рв}) K_{рм} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{л}$$

$$Q_{p\Sigma} = (\sum Q_{рн} + \sum Q_{рв}) K_{рм} + \Delta Q_{тр}$$

$P_{рн}$, $P_{рв}$ - расчетная активная низковольтная и высоковольтная нагрузка цехов соответственно.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



72

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

$Q_{рн}$, $Q_{рв}$ - расчетная реактивная низковольтная и высоковольтная нагрузка цехов соответственно.

Величина коэффициента разновременности зависит от характера производства и принимается из пределов: $K_{рм} = 0.9-0.95$

Величина коэффициента разновременности зависит от характера производства и принимается из пределов: $K_{рм} = 0.9-0.95$

Расчетная полная мощность предприятия со стороны ВН трансформаторов ГПП определяется с учетом потерь мощности в трансформаторах ГПП.



73

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Приблизительно потери мощности в них определяются:

$$\Delta P_{трГПП} = 0.02 S_{р\Sigma}$$

$$\Delta Q_{трГПП} = 0.1 S_{р\Sigma}$$

Тогда расчетная полная мощность предприятия со стороны ВН трансформаторов ГПП:

$$S_{рГПП} = \sqrt{\left(P_{р\Sigma} + \Delta P_{трГПП}\right)^2 + \left(Q_{р\Sigma} + \Delta Q_{трГПП} - Q_{ку}\right)^2}$$



74

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

Расчет электрических нагрузок завода начинается с расчета электрических нагрузок цехов методом упорядоченных диаграмм.

Вначале рассчитываются электрические нагрузки в сети напряжением **до 1000 В с подведением итоговых значений, затем электрические нагрузки высоковольтных потребителей.**

После этого находятся итоговые значения электрических нагрузок по заводу.

Расчет однофазных нагрузок

Нагрузка от однофазных ЭП в трехфазной сети определяется так же, как и от трехфазных, при условии, что нагрузка равномерно распределена по фазам или ее неравномерность не превышает **15% от суммарной номинальной мощности всех приемников, однофазных и трехфазных, присоединенных к узлу питания.**

Однофазные нагрузки включаются на фазное или линейное напряжение. Нагрузка распределяется по фазам, как правило, неравномерно.

Расчет однофазных нагрузок

В зависимости от числа однофазных ЭП и схемы их включения в трехфазную сеть при неравномерности распределения нагрузки более **15%** мощность однофазных ЭП приводится к условной трехфазной мощности $P_{н.у}$ следующими способами:

- 1) Один ЭП включен на фазное напряжение

$$P_{н.у} = 3 * P_{н.м.ф.}$$

- 2) Один ЭП включен на линейное напряжение

$$P_{н.у} = * P_{н.м.л.}$$

- 3) При числе однофазных ЭП менее 4 и включенных на фазное напряжение

$$P_{н.у} = 3 * P_{н.м.ф.}$$

где $P_{н.м.ф.}$ – номинальная мощность ЭП наиболее загруженной фазы, кВт;



77

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Расчет однофазных нагрузок

- 4) При числе однофазных ЭП менее 4 и при включении их на линейное напряжение в разные плечи трехфазной системы

$$P_{н.у} = 3 * P_{н.м.ф.}$$

где $P_{н.м.ф.}$, определяется как полусумма нагрузок двух плеч, прилегающих к данной фазе

$$P_a = \frac{P_{ae} + P_{ac}}{2}$$



78

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Расчет однофазных нагрузок

5) При смешанной схеме включения однофазных ЭП (одного на фазное, а второго на линейное напряжение) определяются условные мощности, приведенные к каждой фазе, причем за основу расчета принимается большая мощность

$$p_{н.у} = 3 * p_{н.м.ф.}$$

6) Расчетная активная нагрузка при 4 и более однофазных ЭП и одинаковыми K_u и \cos независимо от схемы включения определяется по формуле:

$$P_p = 3K_u K_M P_{н.м.ф.}$$

где $P_{н.м.ф.}$ - номинальная активная мощность наиболее загруженной фазы.



79

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Расчет однофазных нагрузок

Эффективное число ЭП в этом случае:

$$n_{\text{э}} = 2 \sum p_{н.о.} / (3 p_{н.о.м})$$

где $\sum p_{н.о.}$ - сумма номинальных мощностей однофазных приемников данного расчетного узла;

$p_{ном}$ - номинальная мощность наибольшего однофазного ЭП.



80

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Расчет однофазных нагрузок

Задача. Определить расчетные нагрузки при включении на линейное напряжение 380/220 В трех однофазных сварочных трансформаторов со следующими паспортными данными:

1. фазы АВ $S_1=70$ кВА; ПВ₁=50 %; $\cos \varphi_1=0.5$;
2. фазы АС $S_2=42$ кВА; ПВ₂=60 %; $\cos \varphi_1=0.65$;
3. фазы ВС $S_3=34$ кВА; ПВ₃=65 %; $\cos \varphi_1=0.5$;

Решение. Определяем номинальные мощности трансформаторов, приведенные к ПВ=100%:



81

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Расчет однофазных нагрузок

$$P_{H1} = S_1 \cos \varphi_1 \sqrt{\text{ПВ}_1} = 70 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{0.5} = 24.5 \text{ кВт}$$

$$P_{H2} = S_2 \cos \varphi_2 \sqrt{\text{ПВ}_2} = 42 \cdot 0.65 \cdot \sqrt{0.6} = 21 \text{ кВт}$$

$$P_{H3} = S_3 \cos \varphi_3 \sqrt{\text{ПВ}_3} = 34 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{0.65} = 14 \text{ кВт}$$

Определяем нагрузку наиболее загруженной фазы при включении трансформаторов на соответствующие фазы:

$$P_a = (P_{ab} + P_{ac}) / 2 = (24.5 + 21) / 2 = 22.8 \text{ кВт};$$

$$P_b = (P_{ab} + P_{bc}) / 2 = (24.5 + 14) / 2 = 19.3 \text{ кВт};$$

$$P_c = (P_{bc} + P_{ac}) / 2 = (14 + 21) / 2 = 17.5 \text{ кВт};$$

Наиболее загруженной является фаза а.



82

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Расчет однофазных нагрузок

Условная трехфазная номинальная
мощность

$$p_{н.у} = 3 * p_a = 3 * 22,8 = 68,4 \text{ кВт}$$

Полная нагрузка и ток составляют:

$$S_M = p_{н.у} / \cos = 68,4 / 0,5 = 136,5 \text{ кВА}$$

$$I_M = S_M / (\sqrt{3} U_N) = 136,5 / (3 * 0,38) = 208 \text{ А}$$

Пиковые нагрузки

Пиковая нагрузка – это максимальная нагрузка длительностью **1-2 сек.** По ней проверяют колебания напряжения, выбирают уставки защиты, плавкие вставки предохранителей.

Пиковый ток $I_{пик}$ группы электроприемников, работающих при отстающем токе, определяется:

$$I_{пик} = I_{пуск \max} + (I_{расч} - K_u I_{ном \max})$$

Пиковые нагрузки

где $I_{пуск\ max}$ – наибольший из пусковых токов электроприемника в группе по паспортным данным;

$I_{расч}$ – расчетный ток нагрузки группы электроприемников;

$I_{ном\ max}$ – номинальный (приведенный к ПВ=100%) ток электроприемника с наибольшим пусковым током;

K_u – коэффициент использования электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток.



85

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

При подключении к электрической сети группы из двух-пяти электроприемников за пиковый ток принимается:

$$I_{пик} = I_{пуск\ max} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{ном\ i}$$

Здесь

$$\sum_{i=1}^{n-1} I_{ном\ i}$$

- суммарный номинальный ток группы электроприемников без учета номинального тока электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток.



86

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

В качестве наибольшего пикового тока одного ЭП принимается: для электродвигателей – пусковой ток, для печных и сварочных трансформаторов – пиковый ток по паспортным данным. При отсутствии последних:

- ✓ пусковой ток асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных двигателей может быть принят равным 5-7 кратному номинальному;
- ✓ пусковой ток двигателей постоянного тока и асинхронных двигателей с фазным ротором – не ниже 2,5-кратного номинального;

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



87

Пиковые нагрузки

пиковый ток печных и сварочных трансформаторов – **не менее 3-кратного номинального (без приведения к ПВ=100%)**.

Для группы электродвигателей, которые могут включаться одновременно, пиковый ток принимается равным сумме их пусковых токов.

Пиковые нагрузки таких групп приемников, как электрические печи сопротивления и осветительные установки с лампами накаливания, совпадают с расчетными:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{расч}}$$

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



88

Пиковые нагрузки

так как толчки тока при включении таких электроприемников кратковременны и не создают недопустимых отклонений напряжения в сети.

Расчетный ток в соотношении определяется по выражению:

$$I_{расч} = \frac{S_{расч}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

после расчета полной нагрузки $S_{расч}$ в целом по группе (узлу) электроприемников (с переменным и/или практически постоянным графиком нагрузок).



89

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

Номинальный ток электроприемника $I_{ном}$ рассчитывается по паспортным (каталожным) данным по одной из приведенных ниже формул:

✓ для трехфазных электродвигателей:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}}$$

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность электродвигателя;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети;

$\cos \varphi_{ном}$ – номинальный коэффициент мощности нагрузки;

$\eta_{ном}$ – номинальный к.п.д.;



90

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

✓ для многодвигательного электропривода:

$$I_{НОМ} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{НОМ i}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi_{НОМ} \cdot \eta_{НОМ}}$$

где $\sum_{i=1}^n P_{НОМ i}$

– сумма номинальных мощностей ЭП многодвигательного привода;

$\cos \varphi_{НОМ}$ – номинальный коэффициент мощности *наиболее мощного* ЭП привода;

$\eta_{НОМ}$ – номинальный к.п.д. *наиболее мощного* ЭП привода;



91

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

✓ для трехфазной электропечи:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi}$$

✓ для трехфазной выпрямительной установки или трансформатора:

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$$



92

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

✓ для однофазных ЭП силовой сети, включенных на фазное напряжение:

$$I_{ном} = \frac{P_{\phi}}{U_{ном, \phi} \cdot \cos \varphi_{ном}}$$

где P_{ϕ} – активная мощность однофазного электроприемника;

$U_{ном, \phi}$ – номинальное фазное напряжение сети;



93

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

✓ для сетей постоянного тока и однофазного тока с активной нагрузкой ($\cos \varphi_{ном} = 1$):

$$I_{ном} = \frac{P_{\phi}}{U_{ном, \phi}}$$



94

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Пиковые нагрузки

✓ для трехфазной осветительной сети с лампами накаливания:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_o}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}, \phi}}$$

где P_o – суммарная активная трехфазная мощность нагрузки осветительной сети, все электроприемники которой присоединяются на фазное напряжение.

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

При решении этого вопроса руководствуются следующими положениями:

✓ намечаются возможные варианты мощности трансформаторов с учетом допустимой их перегрузки в рабочем и послеаварийном режимах, и на основании технико-экономического сопоставления выбирается приемлемый вариант с учетом возможного увеличения нагрузок.

✓ число трансформаторов на подстанции определяется из условия надежности питания с учетом категории потребителей электроэнергии;

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Трансформаторные подстанции должны размещаться как можно ближе к центру электрических нагрузок. Для этого должны применяться внутрицеховые ТП, а также встроенные в здание цеха или пристроенные к нему ТП, питающие отдельные цеха или их части.

ТП должны размещаться вне цеха только при невозможности размещения внутри его или при расположении части нагрузок вне цеха.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



97

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Применение внешних, отдельно стоящих цеховых ТП целесообразно:

- ✓ при питании от одной ТП нескольких цехов;
- ✓ при наличии в цехах взрывоопасных производств;
- ✓ при невозможности расположения ТП внутри цеха по соображениям производственного характера.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



98

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Однотрансформаторные цеховые ТП применяются при ЭП, допускающих перерыв в электроснабжении на время доставки «складского» резерва или при резервировании, осуществляемом по переключкам на вторичном напряжении.

Двухтрансформаторные цеховые ТП применяются при преобладании потребителей I и II категорий, а также при наличии неравномерного суточного или годового графика нагрузок.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



99

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Цеховые ТП с числом трансформаторов более двух применяются при обосновании необходимости их применения, а также в случаях установки отдельных трансформаторов для питания силовых и осветительных нагрузок.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



100

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Радиальное питание небольшой мощности однострансформаторных ТП (до 630 кВА) производится по одиночной радиальной линии без резервирования по высокому напряжению при отсутствии потребителей 1 категории. Взаимное резервирование в объеме 25–30 % на однострансформаторных ТП следует осуществлять перемычками напряжением до 1 кВ (при схеме «трансформатор–магистраль») для отдельных ТП, где резервирование необходимо.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



101

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Радиальные схемы цеховых двухтрансформаторных бесшинных ТП следует осуществлять от разных секций РП, питая каждый трансформатор отдельной линией. Каждую линию и трансформатор рассчитывают на покрытие нагрузок 1 категории и основных нагрузок II-категории при аварийном режиме. При отсутствии данных о характере нагрузок каждая линия и каждый трансформатор цеховой ТП выбирается предварительно из расчета: мощность трансформатора должна составлять 80–90 % от расчетной мощности нагрузок, подключаемых к ТП.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



102

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Магистральные схемы питания ТП должны применяться:

✓ при линейном расположении ТП, обеспечивающего прямое прохождение магистралей от источника питания до потребителей. Число трансформаторов, присоединенных к одной магистрали, должно быть **2–3** при мощности трансформатора **1600–2500 кВА** и **4–5** при мощности **250–630 кВА** %;



103

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

✓ при необходимости резервирования ТП от другого ИП в случае планового или аварийного выхода из работы основного питающего пункта;

✓ во всех других случаях, когда магистральные схемы имеют технико-экономические преимущества по сравнению с другими схемами.



104

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

При выборе числа и мощности трансформаторов цеховых ТП рекомендуется:

✓ применять трансформаторы мощностью **более 1000 кВА** при наличии группы ЭП большой мощности (например электропечей) или значительного числа однофазных ЭП, а также при наличии ЭП с частыми пиками нагрузок (например электросварочных установок) и в цехах с высокой плотностью нагрузки;

✓ стремиться к возможно большей однотипности трансформаторов цеховых ТП;

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



105

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

✓ выбирать при двухтрансформаторных ТП, а также при однострансформаторных ТП с магистральной схемой электроснабжения мощность каждого трансформатора с таким расчетом, чтобы при выходе из работы одного трансформатора оставшийся в работе мог нести всю нагрузку потребителей **I** и **II** категорий, потребители **III** категории временно отключаются. В этом случае при загрузке трансформатора на **0,7** его номинальной мощности при отключении одного из них на ТП оставшийся в работе трансформатор будет загружен до **1,4**.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



106

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Рекомендуется применять следующие коэффициенты загрузки трансформаторов:

✓при преобладании нагрузок II категории на двухтрансформаторных ТП $K_3 = 0,65-0,7$;

✓при преобладании нагрузок II категории на двухтрансформаторных ТП и взаимном резервировании на вторичном напряжении $K_3 = 0,7-0,8$;

✓при преобладании нагрузок II категории и наличии складского резерва трансформаторов, а также при нагрузках III категории $K_3 = 0,9-0,95$.



107

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

При выборе числа и мощности трансформаторов цеховых ТП одновременно должен решаться вопрос об экономически целесообразной величине реактивной мощности (Q_1), передаваемой этими трансформаторами в сеть напряжением до 1 кВ. Для облегчения таких расчетов была разработана методика, позволяющая вести расчеты с помощью графиков и номограмм, но в этом случае теряется физический смысл расчетов и в настоящем пособии ею не будем пользоваться.



108

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Рассмотрим два случая выбора числа и мощности трансформаторов цеховых ТП.

1. Крупное предприятие с присоединением в сети **6–10 кВ** большого числа трансформаторов.

В этом случае номинальные мощности трансформаторов ($S_{\text{нтр}}$) определяются плотностью нагрузки цехов (производств) и выбираются, как правило, одинаковыми для всей группы цехов (производств). Удельная плотность нагрузки определяется по формуле



109

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

$$\sigma = \frac{S_{\text{тнн}}}{F_{\text{ц}}},$$

где

$S_{\text{тнн}}$ – суммарная полная расчетная низковольтная нагрузка цехов, кВА;

$F_{\text{ц}}$ – площадь всех цехов предприятия, м².

Рекомендуемые номинальные мощности трансформаторов для различных плотностей нагрузок приведены в табл.



110

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Таблица

Удельная плотность нагрузки, σ , кВА/м ²	Рекомендуемая номинальная мощность трансформатора, $S_{н.тр}$, кВА
менее 0,2	до 1000
0,20–0,5	1000 – 1600
более 0,5	1600 – 2500

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



111

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Стоимость комплектных ТП очень высока и поэтому при выборе средств компенсации реактивной мощности решающее значение имеет число установленных трансформаторов. Минимальное возможное число трансформаторов определяется по формуле

$$N_{\min} = \frac{P_m}{\beta_m \cdot S_{н.тр}},$$

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



112

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

где P_m – расчетная активная мощность технологически связанных нагрузок (обычно принимается среднее $P_{см}$ за наиболее загруженную смену), МВт;

β_m – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность одного трансформатора, МВА.

Полученное значение N_{min} округляется до ближайшего большего целого числа.



113

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Наибольшая реактивная мощность Q_1 , которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 6–10 кВ без увеличения числа трансформаторов, определяется по формуле

$$Q_1 = \sqrt{(N \beta_m S_{н.тр})^2 - P_m^2}$$



114

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Далее, для решения поставленной задачи необходимо сравнить расчетные затраты для вариантов с N_{\min} с числом трансформаторов, увеличенных на один и на два. Величина затрат для первого варианта (при N_{\min}) определяется как сумма затрат на генерацию Q_1 – на стороне 6–10 кВ и затрат на установку БК в сетях напряжением до 1 кВ, мощность которых находится из условия баланса реактивных мощностей в этих сетях.

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Для второго и третьего вариантов должны учитываться затраты на дополнительную установку соответственно одного или двух трансформаторов.

Изменениями величины потерь электроэнергии при изменении числа трансформаторов на один или два можно пренебречь, так как при увеличении числа трансформаторов потери в сети и в обмотках трансформаторов несколько снижаются, а потери холостого хода трансформаторов несколько возрастают и поэтому суммарное изменение потерь незначительно.

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Перегрузочная способность трансформатора зависит от загрузки трансформатора **в течение суток** и **в течение года**, поскольку в летнее время максимум нагрузки меньше, чем в зимнее время. На рис. приведены кривые кратностей допустимых нагрузок трансформатора $K_H = S_T / S_{H.тр} = I_T / I_{H.тр}$ от продолжительности максимальной нагрузки в течение суток t (ч) и коэффициента заполнения суточного графика $K_{зг}$.

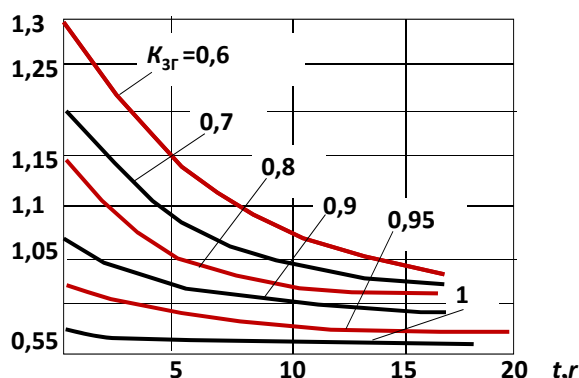
Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



117

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Кривые кратностей допустимых нагрузок трансформаторов



Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭЛТИ ТПУ



118

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

При этом $K_{зг} = S_{ср} / S_{max}$,

где $S_{ср}$, S_{max} – средняя и максимальная нагрузки трансформатора в течение суток.

По значениям $K_{зг}$ и t определяется коэффициент кратности допустимой нагрузки (рис.).

Если в летнее время максимум нагрузки меньше $S_{н.тр}$ на величину P , то в зимнее время допускается перегрузка трансформатора на ту же величину, но не более чем на $15\% S_{н.тр}$.

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Суммарная перегрузка за счет суточной и летней недогрузок не должна превышать $30\% S_{н.тр}$ для трансформаторов наружной установки и 20% – для трансформаторов, устанавливаемых внутри помещений.

По ПУЭ допускается при $K_{зг} < 0,75$ перегрузка одного трансформатора до 140% в аварийном режиме продолжительностью 5 суток, не более 6 часов в сутки.

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Обычно $K_{зг}$ не превышает **0,75**, т. е. $K_{зг} \leq 0,75$. Поэтому можно установить связь между средней нагрузкой потребителей и $S_{н.тр}$, а именно $S_{ср} \leq 0,75 \cdot 1,4 S_{н.тр} \leq 1,05 S_{н.тр}$.

Следовательно, для выбора мощности трансформатора с учетом резервирования и допустимых перегрузок достаточно знать **максимальную и среднюю нагрузки и продолжительность суточного максимума.**

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и их типа

Выбор мощности трансформатора только по максимальной нагрузке без учета графика нагрузки приводит в ряде случаев к завышению мощности трансформатора, которую можно принять меньшей с учетом допустимых перегрузок трансформатора.

Компенсация реактивной мощности

Реактивная мощность в системах электроснабжения

Большинство ЭП потребляют из электрической сети определенную мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

по сети протекает активная мощность P [кВт] и реактивная Q [кВАр].

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



123

Компенсация реактивной мощности

Загрузка системы электроснабжения определяется полной мощностью S [кВА], активная составляющая которой P [кВт] представляется полезно потребленной и обратно к источнику питания (ИП) не возвращается. Реактивная составляющая Q [кВАр] полной мощности S [кВА] расходуется на создание магнитных полей в отдельных элементах электрической сети, в частности: трансформаторах, электрических двигателях, линиях электропередачи, газоразрядных источниках света, дуговых сталеплавильных печах и др.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



124

Компенсация реактивной мощности

Практически она не потребляется, а перетекает от **ИП** (генератора) к **ЭП** и **обратно** (с частотой $f = 2 \cdot f_{50}$). В электрической цепи, состоящей из индуктивности, в течение $1/4 T_{50}$ магнитный поток в ЭП возрастает, происходит накопление реактивной мощности (магнитной энергии), во второй четверти T_{50} реактивная мощность (магнитная энергия) перетекает к ИП; в $3/4 T_{50}$ в ЭП опять происходит накопление энергии магнитного поля, и в последней четверти реактивная мощность Q перетекает (в обратном направлении) к ИП (генератору).

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



125

Компенсация реактивной мощности

Для такой пульсации Q – от генератора к ЭП и обратно – не требуется никаких затрат. Но так как это перетекание Q совершается через **элементы сети**, содержащие активное сопротивление R , то на его **нагрев** расходуется мощность, т. е. от генератора требуется энергия, однако о расходе реактивной мощности речь не идет.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ



126

Компенсация реактивной мощности

Потери ΔP можно разложить на составляющие:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2 = \frac{S^2 \cdot R}{U^2} = \frac{P^2 \cdot R}{U^2} + \frac{Q^2 \cdot R}{U^2}.$$

Первый член – потери активной мощности за счет передачи по электрической цепи активной мощности P ,

второй – потери активной мощности за счет передачи по этой же цепи реактивной мощности Q .



127

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Компенсация реактивной мощности

Потери за счет передачи реактивной мощности (а также и активной) **тем больше, чем дальше** расположен потребитель реактивной мощности от ИП.

В **балансе реактивных нагрузок** потери реактивной мощности в элементах системы электроснабжения достигают **20 %**.

Естественный коэффициент мощности электрических нагрузок различных промышленных предприятий изменяется в пределах **$\cos \varphi_{\text{ест}} = 0,7-0,9$** .



128

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий ЭПТИ ТПУ

Компенсация реактивной мощности

Это означает, что предприятия потребляют реактивную мощность

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{ест}} = (1,02 - 0,48) P_p$$

Оценим потери активной мощности в сетях от передачи Q .

**Кафедра
Электроснабжение промышленных
предприятий**

56-42-10